

## Die explanatorische Lücke innerhalb des Begriffsspektrums von Organic Computing

Im ersten Teil des Seminars wurde der mathematische Formalismus zur Beschreibung von Prozessen der **Selbstorganisation** in komplexen Systemen dargestellt. Dieser konnte an physikalischen, chemischen und biologischen Systemen exemplifiziert werden. Letztere stellen natürliche Beispiele für **informationsverarbeitende Systeme** dar, weil sie adaptiv auf Informationen ihrer Umwelt reagieren. Der informationsverarbeitende Charakter steht im Falle der besprochenen Modelle neuronaler Dynamik im Nervensystem außer jeder Frage. Darüberhinaus wird das adaptive Verhalten selbstorganisierter biologischer Systeme unvermittelt als **zielgerichtet** oder **zweckmäßig** aufgefaßt und tritt in Form von verschiedenen **Selbst-X Eigenschaften** (Selbst-Konfiguration, Selbst-Optimierung, Selbst-Heilung, Selbst-Schutz) in Erscheinung. Diese empirisch begründeten, phänomenalen (auf die Erscheinung bezogenen) Merkmale organischer Systeme, welche die Entwurfsziele einer organisch strukturierten Informationstechnologie darstellen, werfen einige Fragen auf, mit denen sich die Forschungsinitiative Organic Computing auseinandersetzen hat. Organic Computing verfolgt das Anliegen, einerseits eine konzeptionelle Grundlage zum besseren Verständnis der natürlichen Vorbilder und jener charakteristischen Merkmale zu entwickeln und andererseits Systeme mit solchen Merkmalen technisch zu konstruieren. Nach der in unserer Arbeitsgruppe vertretenen Auffassung kann der Gegenstand der Forschungsinitiative Organic Computing, wie im nachfolgenden Schema illustriert, als die entwurfsorientierte Untersuchung von informationsverarbeitenden Systemen mit jenen phänomenalen Merkmalen innerhalb des durch Konzepte der Selbstorganisation implizierten methodologischen Rahmens definiert werden.

Die qualitativ andersartigen phänomenologischen Erkenntnisse über organische Systeme lassen sich im Rahmen der formalen Beschreibung selbstorganisierter Informationsverarbeitungsprozesse durch Differentialgleichungssysteme nicht ohne weiteres erklären. Somit existiert eine **explanatorische** Lücke (Erklärungslücke) innerhalb der zentralen Begrifflichkeiten von Organic Computing. Indem der Dynamik eines Systems eine Bedeutung in Form von Zielstrebigkeit und Selbst-X Eigenschaften zugeordnet wird, erhalten entsprechende Systeme durch den menschlichen Beobachter eine **semantische Dimension**. Um das vorliegende Problem genauer explizieren zu können, sollen zunächst einige grundlegende Konzepte aus den Bereichen der Semiotik und Informationstheorie erklärt werden.

Semiotik und Informationstheorie haben in verschiedener Weise mit dem Begriff der Information zu tun, jedoch hat sich die Informationstheorie bisher auf eine von der Bedeutung abstrahierte Betrachtung von Information (wie etwa deren Quantifizierung und Meßbarkeit durch das Konzept der Entropie) konzentriert, während sich die Semiotik ausschließlich auf konventionell begründete Zeichen beschränkt hat. Die Wahrnehmung von Zielstrebigkeit und Selbst-X-Eigenschaften ist jedoch keineswegs konventionell bedingt. Vielmehr scheint es sich um eine der Dynamik solcher Systeme inhärente Bedeutung zu handeln. Wir wollen im Seminar unter anderem die Notwendigkeit einer Semantik organischer Systeme zum Verständnis von biologischen, neurologischen und kognitiven Prozessen, sowie deren Vorteile beim organischen Systementwurf in der KI-Forschung, Informatik, Robotik, synthetischen Biologie und beim Nano- und Molecular Computing demonstrieren. Da durch Organic Computing in diesen Bereichen zielorientierte, selbstorganisierte (intelligente, menschenähnliche) Systeme entworfen werden sollen, müssen die Entwurfsziele zunächst

innerhalb des durch die methodologische Positionierung gegebenen konzeptionellen Rahmens verstanden werden.

Die Dreidimensionalität oder **Dreiaspektigkeit von Information**, d.h. die Aufteilung in einen syntaktischen, semantischen und pragmatischen Aspekt, wird heute weitgehend akzeptiert. Sie entstammt der **Semiotik** (semiotische Dreidimensionalität) und geht auf **Charles William Morris** zurück. Dabei bezieht sich

- der **syntaktische Aspekt** auf die Beziehungen zwischen den Informationseinheiten (Zeichen) untereinander
- der **semantische Aspekt** auf die Bedeutungen von Informationseinheiten und deren Beziehungen untereinander
- der **pragmatische Aspekt** auf die Wirkung von Informationseinheiten

Ein **formales System** beschreibt lediglich die Beziehungen zwischen Informationseinheiten (Elemente, Items, Zeichen, Symbole), indem es Relationen zwischen diesen definiert. Formale Systeme sind demnach rein syntaktischer Natur. Es ist eine Grundannahme des **Strukturalismus**, daß aus solchen Systemen, wenn sie hinreichend feingranular sind (dichtes Netz von Verknüpfungen), eine Semantik hervorgeht. Demnach wäre die Bedeutung von Zahlen beispielsweise in deren algebraischen Strukturen begründet. Während die Bezugnahme zur äußeren Welt mit einem strikten **Formalismus** nicht zu vereinbaren ist, tendieren modernere Ausprägungen des Strukturalismus zu einer sogenannten Welthaltigkeit sprachlicher Strukturen.

Die im ersten Teil des Seminars erläuterte Beschreibung selbstorganisierter Systeme durch Systeme von Differentialgleichungen kann insofern auch als formal betrachtet werden, da sie ebenso von der Bedeutung der in den Systemen verarbeiteten Information absieht. Sie bezieht sich jedoch nicht auf den syntaktischen, sondern auf den pragmatischen Aspekt von Information, nämlich auf die Informationsverarbeitung in einem System, d.h. die in der Veränderung der Zustandsvariablen zum Ausdruck kommende **Wirkung** externer Signale auf ein System. Die als Eingangssignal eintreffende und vom System verarbeitete Information kann hierbei jedoch nicht in diskrete Informationseinheiten zerlegt werden.

Die meisten theoretischen Ansätze innerhalb der Semantik gehen davon aus, daß Bedeutungsinhalte mentaler Natur sind und als **Konzepte** im menschlichen Geist aufzufassen sind, die mit Zeichen verbunden sind (**mentalistische Ansätze**). Strukturalistische mentalistische Theorien verstehen Bedeutungsinhalte als mentale Strukturen. Solche Ansätze liegen innerhalb der Philosophie des Geistes dem **Funktionalismus** zugrunde, dessen Vertreter mentale Zustände als funktionale Zustände interpretieren, wohingegen Vertreter des **Konnektionismus** Bedeutungen als Strukturen in neuronalen Netzen auffassen. Der in der klassischen KI-Forschung vorherrschende Computerfunktionalismus konkretisiert funktionale Zustände als Zustände in **symbolverarbeitenden Systemen**. Ein solches besteht aus einer Menge von interpretierbaren und kombinierbaren Informationseinheiten (Items, Symbole) und einer Menge von Operationen (Kopieren, Verketteten, Erzeugen, Zerstören...) auf den Symbolen, deren Bedeutung sich aus diesen operationalen Strukturen konstituiert. Es ist eine umstrittene philosophische Frage, ob und unter welchen Bedingungen aus solchen syntaktischen Strukturen der Symbolverarbeitung eine Semantik hervorgehen kann. Das Operieren auf Symbolen mit ansich arbiträrer Semantik ist das Wesensmerkmal des algorithmischen Organisationsprinzips, in welchem Vertreter von Organic Computing die Ursache für die Fehleranfälligkeit komplexer Computersysteme sehen [Mal99].

Handelt es sich bei den Informationseinheiten um Zeichen im Sinne der Semiotik, d.h. um etwas, das per gesellschaftlicher Konvention für etwas anderes steht, so spricht man bei der Zuordnung eines Zeichens zu seiner Bedeutung von **Designation**. Ferdinand de Saussure, der Begründer der Semiotik und des Strukturalismus in der Sprachwissenschaft, etablierte die Ansicht, daß kein Zeichen aus sich heraus, sondern ausschließlich durch seine Differenz zu anderen Zeichen in seiner Bedeutung bestimmt wird, und es keine im Zeichen selbst liegende Qualität gibt, die eine bestimmte Bedeutung rechtfertigen könnte (Prinzip der Arbitrarität sprachlicher Zeichen). Die Semantik organischer Informationsverarbeitung unterscheidet sich jedoch grundlegend von solchen sprachlichen Zeichen und ihrer **arbiträren Bedeutung**, da Zielstrebigkeit und Selbst-X-Eigenschaften der Dynamik organischer Systeme **inhärent** zu sein scheinen, und organische Systeme darum in gewisser Weise als **selbst-erklärend** aufzufassen sind.

Die von Noam Chomsky und Jerry A. Fodor entwickelten computationalen Theorien mentaler Zustände verleiten zu der These, daß der menschlichen Sprache kein semantisches System vorausgegangen sei, welches beispielsweise bei Tieren zu finden wäre und welches ohne eine symbolische Repräsentation auskäme. Demzufolge wäre eine Semantik organischer Informationsverarbeitung überhaupt nicht möglich. Neuere Ansätze aus dem Bereich der Kognitionswissenschaften widersprechen solchen symbolischen Theorien. Vor allem können semantische Aspekte organischer Systeme, wie Zielstrebigkeit oder Selbst-X-Eigenschaften, durch die computationale Theorie von Chomsky und Fodor nicht erklärt werden. Man kann jedoch schon einfachen Bewegungsabläufen eine (vielfach auch inexplicable) "Bedeutung" zuordnen, wie die folgende Animation dies in zwei Sequenzen von Bildern verdeutlicht, in denen jeweils farbige Kreise dargestellt werden.



Die erste Bildsequenz erlaubt es bereits während des Ablaufs, einen Bewegungsverlauf zu antizipieren. Obgleich die dargestellten Kreise unterschiedliche Farben besitzen, findet eine Identifikation aller Kreise statt. In der zweiten Bildsequenz ist noch nicht einmal im Nachhinein ein Bewegungsverlauf zu rekonstruieren, noch weniger kann ein solcher während der Bildabfolge antizipiert werden. Es ist trotz ihrer farblichen Identität schwierig, die unterschiedlich positionierten Kreise als ein und dasselbe Objekt zu identifizieren. Offensichtlich wird der ersten Bildsequenz im Gegensatz zur nachfolgenden Bildsequenz ein Bedeutungsinhalt zugeordnet, da jene als stetige Translation approximiert werden kann. Eine solche Semantik beruht auf keiner Konvention, wie dies bei einem semiotischen Zeichen der Fall wäre. Der Bedeutungsinhalt ist vielmehr ohne Kenntnis eines Codes zu verstehen und die beobachtete Dynamik daher **selbst-erklärend**.

Semantische Aspekte organischer Informationsverarbeitung werden demnach weder in der Semiotik betrachtet, noch wurden sie bisher innerhalb der Informationstheorie untersucht. Während im ersten Teil des Seminars erläutert wurde, inwiefern Informationsverarbeitung und Selbstorganisation formal und einheitlich im Rahmen der nicht-linearen Dynamik beschrieben und erklärt werden können, bleibt die Frage offen, wie denn die besagten phänomenalen Merkmale und ihre semantischen Aspekte innerhalb dieser Konzeption zu erklären sind. Nach den vorangegangenen Erläuterungen kann dies nun auch als die Frage formuliert werden,

wie semantische Aspekte auf pragmatische Aspekte von Information zurückgeführt werden können. Diese Frage ist der Gegenstand des Seminars und wird den integrativen Bezugspunkt bei unserem Streifzug durch verschiedene Wissenschaften darstellen.

**Literatur und Links:**

[Mal99] v. d. MALSBURG, C. : *The Challenge of Organic Computing*. 1999. [pdf](#)

[Wü08] WÜRTZ, R.P. (Editor): *Organic Computing - Understanding Complex Systems*. Springer, 2008

[Semiotics for Beginners](#)

[Organic Computing](#)